

Patent number: DE10026635

Publication date: 2002-01-03

Inventor: CRAMER DIETER (AT); KAINZ GERALD (AT); SCHUH CARSTEN (DE)

Applicant: EPCOS AG (DE); SIEMENS AG (DE)

Classification:

- **international:** *B23K1/00; B23K1/20; F02M51/00; H01L41/047; H01L41/083; H02N2/04; F02M63/00; B23K1/00; B23K1/20; F02M51/00; H01L41/00; H01L41/083; H02N2/02; F02M63/00; (IPC1-7): B23K1/20; F02M51/00; H01L41/047; H01L41/083*

- **european:** B23K1/00S; B23K1/20; F02M51/00C; H01L41/047; H01L41/083

Application number: DE20001026635 20000529

Priority number(s): DE20001026635 20000529

1/18/2008



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 100 26 635 A 1

51 Int. Cl. 7:
B 23 K 1/20
H 01 L 41/047
H 01 L 41/083
F 02 M 51/00

21 Aktenzeichen: 100 26 635.5
22 Anmeldetag: 29. 5. 2000
43 Offenlegungstag: 3. 1. 2002

DE 100 26 635 A 1

71 Anmelder:
EPCOS AG, 81541 München, DE; Siemens AG,
80333 München, DE

74 Vertreter:
Zedlitz, P., Dipl.-Inf.Univ., Pat.-Anw., 80331
München

72 Erfinder:
Cramer, Dieter, Dipl.-Ing., Graz, AT; Kainz, Gerald,
Dr. Phil., Graz, AT; Schuh, Carsten, Dipl.-Ing.
Dr.rer.nat., 85598 Baldham, DE

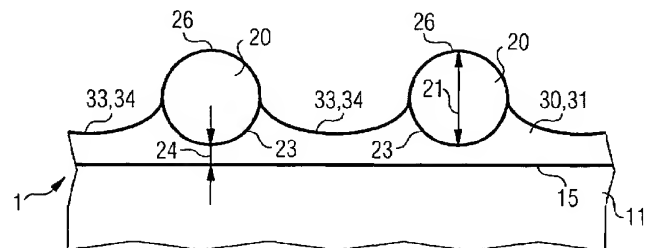
66 Entgegenhaltungen:
DE 197 15 488 C1
DE 6 91 01 265 T2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Herstellen einer Lotverbindung, elektrotechnisches Erzeugnis mit der Lotverbindung und Verwendung des elektrotechnischen Erzeugnisses

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Lotverbindung (30) zwischen einer elektrischen Kontaktfläche (15) eines Körpers (11) und einer Drahtoberfläche (23) zumindest zweier, nebeneinander kreuzungsfrei angeordneter Drähte (20). Dies gelingt durch Vorverlotung der Kontaktfläche mittels einer Lotbahn. Das Verfahren eignet sich zur Kontaktierung eines Aktorkörpers eines Piezoaktors, wobei an einen Metallisierungstreifen des Aktorkörpers im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtete, wenige µm-dicke Drähte sicher und reproduzierbar angelötet werden können.



DE 100 26 635 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Lotverbindung zwischen einer elektrischen Kontaktfläche zumindest eines Körpers und einer Drahtoberfläche zumindest zweier nebeneinander angeordneter Drähte. Neben dem Verfahren wird ein elektrotechnisches Erzeugnis und eine Verwendung des elektrotechnischen Erzeugnisses angegeben.

[0002] Das elektrotechnische Erzeugnis ist beispielsweise ein Piezoaktor. Ein derartiger Piezoaktor ist aus DE 197 15 488 A1 bekannt. Der Piezoaktor verfügt über einen Körper in monolithischer Vielschichtbauweise. Der Körper wird als Aktorkörper bezeichnet. Der Aktorkörper umfasst einen Stapel aus mehreren Piezoelementen. Ein Piezoelement besteht aus einer Piezokeramikschiicht und zwei an gegenüberliegenden Seiten der Piezokeramikschiicht angeordneten Elektrodenschichten. Die Elektrodenschichten des Piezoelements sind elektrisch gegeneinander isoliert und können mit jeweils einem unterschiedlichen elektrischen Potential beaufschlagt werden. Eine Elektrodenschicht eines Piezoelements dient im Stapel als Elektrodenschicht eines benachbarten Piezoelements. Die Elektrodenschichten sind im Stapel somit alternierend elektrisch kontaktiert. Eine alternierende elektrische Kontaktierung gelingt mit Hilfe zweier, voneinander getrennter, seitlicher Kontaktflächen des Aktorkörpers. Jede der Kontaktflächen ist durch einen Metallisierungstreifen gebildet, der sich zumindest über eine Höhe des Stapels erstreckt, die sich aus den elektrisch zu kontaktierenden Elektrodenschichten ergibt. Jede Elektrodenschicht ist mit einem der beiden Metallisierungstreifen elektrisch leitend verbunden und gegen den anderen Metallisierungstreifen elektrisch isoliert.

[0003] Um die elektrische Kontaktierung der Elektrodenschichten zu gewährleisten, erfolgt in dem bekannten Piezoaktor eine Spannungszufuhr an einen Metallisierungstreifen über eine streifenförmige, elektrische Kontaktfahne in Form einer mit Kupfer kaschierten Kunststoffolie. Die Kontaktfahne ist dabei über eine Innenkante direkt an die Kontaktfläche oder an den Metallisierungstreifen angelötet. Die Kontaktfahne erstreckt sich, wie der Metallisierungstreifen, zumindest über die Höhe des Stapels, die sich aus den zu kontaktierenden Elektrodenschichten ergibt. Eine vom Aktorkörper wegweisenden Aussenkante der Kontaktfahne ist mit einem starren, elektrischen Anschlusselement in Form eines Anschlussstifts verbunden.

[0004] Durch Anlegen der elektrischen Potentiale an den Elektrodenschichten des Aktorkörpers kommt es während einer Polarisierung und/oder eines Betriebs des Piezoaktors zu einer Expansion und/oder Kontraktion des Aktorkörpers in Stapelrichtung. Dabei kann es insbesondere im Bereich der Kontaktflächen, in denen der Aktorkörper piezoelektrisch inaktiv ist, zu einem Riss im Aktorkörper kommen. Der Riss, der im Wesentlichen parallel zu den Piezokeramikschiichten und Elektrodenschichten orientiert ist, kann sich in die Metallisierungstreifen fortsetzen. Mit Hilfe der Kontaktfahne wird ein derartiger Riss elektrisch überbrückt. Es wird verhindert, dass der Riss zu einer elektrischen Isolierung zumindest eines Teils der Elektrodenschichten führt.

[0005] Aufgrund des Risses im Aktorkörper und/oder im Metallisierungstreifen kann es durch die Expansion und Kontraktion des Aktorkörpers zu einer starken mechanischen Spannung in der Kontaktfahne kommen. Um zu verhindern, dass sich der Riss des Aktorkörpers und/oder des Metallisierungstreifens in die Kontaktfahne fortsetzt, ist es vorteilhaft, wenn die mechanische Spannung in der Kontaktfahne bis hin zum starren Anschlusselement des Piezoaktors weitgehend abbaubar ist. Dazu wurde bereits vorge-

schlagen, bei der Kontaktfahne die mit Kupfer kaschierte Kunststoffolie beispielsweise durch im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete, elektrisch leitende, dünne Drähte zu ersetzen. Diese Drähte sind ebenfalls an der Kontaktfläche beziehungsweise dem Metallisierungstreifen angelötet.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, aufzuzeigen, wie dünne Drähte an einer elektrischen Kontaktfläche eines Körpers sicher und reproduzierbar angelötet werden können.

[0007] Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren zum Herstellen jeweils einer Lotverbindung zwischen einer elektrischen Kontaktfläche zumindest eines Körpers und einer bestimmten Drahtoberfläche zumindest zweier nebeneinander angeordneter Drähte angegeben. Das Verfahren weist folgende Verfahrensschritte auf: a) Anbringen einer Lotbahn aus Lot mit einer bestimmten Lotbahndicke an der Kontaktfläche des Körpers, b) Zusammenbringen der Lotbahn und der Drahtoberflächen den Drähte, wobei die Drähte zumindest im Bereich der Drahtoberflächen untereinander und mit weiteren Drähten kreuzungsfrei angeordnet werden, und c) Erwärmen des Lots der Lotbahn, so dass die Lotverbindungen gebildet werden.

[0008] Die grundlegende Idee der Erfindung besteht darin, eine zum Zusammenlöten der Kontaktfläche des Körpers und der Drähte benötigte und bereitgestellte Lotmenge aufeinander abzustimmen. Damit können die Lotverbindungen mit einer bestimmten mechanischen und elektrischen Eigenschaft sicher und reproduzierbar hergestellt werden.

[0009] Allgemein ist als Körper jeder beliebige Körper denkbar, bei dem an eine elektrische Kontaktfläche des Körpers elektrisch leitende Drähte zur elektrischen Kontaktierung des Körpers angelötet sind. Der Körper mit der elektrischen Kontaktfläche ist beispielsweise der eingangs beschriebene Aktorkörper oder der elektrische Anschlussstift eines Piezoaktors. Dabei ist die Kontaktfläche beispielsweise eine Seitenfläche des Aktorkörpers, ein auf der Seitenfläche des Aktorkörpers aufgebracht Metallisierungstreifen oder auch eine Oberfläche des Anschlussstifts.

[0010] Der Draht ist beispielsweise ein in einer Form eines Fadens oder einer Schnur ausgezogenes Metall. Denkbar ist auch ein Draht in Form einer aus mehreren einzelnen Drähten bestehende Litze. Der Draht zeichnet sich durch einen im Vergleich zu einer Längsausdehnung des Drahtes sehr kleinen Drahtdurchmesser aus. Der Drahtdurchmesser beträgt beispielsweise weniger als 500 µm. Ein Querschnitt eines Drahtes ist beliebig geformt. Beispielsweise ist der Querschnitt rund, oval oder mehreckig. Das Metall ist ebenfalls beliebig. Beispielsweise ist das Metall zumindest ein Stoff, der aus der Gruppe Aluminium, Beryllium, Kobalt, Eisen, Kupfer, Nickel, oder Titan ausgewählt ist. Denkbar ist insbesondere auch eine Legierung auf Basis der genannten Metalle. Ein nichtmetallischer Werkstoff als Material eines Drahtes ist ebenfalls möglich. Beispielsweise ist der Draht aus Karbonfaser.

[0011] Im Bereich der bestimmten Drahtoberflächen wird die Lotverbindung hergestellt. Hier findet ein Zusammenlöten der Drähte und der Kontaktfläche statt. Die Drahtoberfläche ist insbesondere ein Teil einer Mantelfläche des Drahtes.

[0012] Zumindest im Bereich der Drahtoberflächen beziehungsweise im Bereich der Kontaktfläche werden die Drähte nebeneinander und kreuzungsfrei angeordnet. Kreuzungsfrei bedeutet dabei, dass sich die Drähte entlang ihrer Längsausdehnung nicht überkreuzen. Insbesondere werden die Drähte dabei untereinander berührungsfrei in einem bestimmten Drahtabstand zueinander angeordnet. Eine Wahl des Abstands hängt beispielsweise von einer Benetzbarkeit der Kontaktfläche und/oder der Drahtoberfläche mit dem

Lot ab. Durch das kreuzungsfreie Anordnen der Drähte im Bereich der Drahtoberflächen kann ein Bedarf an Lot sehr genau festgelegt werden. Es gibt keine, den Bedarf an Lot beeinflussenden Kreuzungs- und/oder Berührungspunkte zwischen den Drähten. Beispielsweise werden nur im Wesentlichen zueinander parallel angeordnete Drähte verwendet. Dabei ist eine bestimmte Abweichung von einer parallelen Anordnung der Drähte möglich. Die Abweichung umfasst beispielsweise einen Winkel von 0 bis 10 Grad.

[0013] Denkbar ist auch, dass ein Drahtgeflecht zur elektrischen Kontaktierung der Kontaktfläche verwendet wird. Das Drahtgeflecht verfügt beispielsweise über zueinander parallel angeordneten Drähte, die als Schussfäden bezeichnet werden. Mit den Schussfäden sind weitere, zu den Schussfäden annähernd senkrecht verlaufende Drähte verflochten, die als Kettfäden bezeichnet werden. Kettfäden und Schussfäden können sich in einem vom Bereich der Drahtoberflächen verschiedenen Bereich der Schussfäden zur Stabilisierung der Schussfäden und/oder des Drahtgeflechts kreuzen. Schussfäden und Kettfäden bilden Kreuzungspunkte. Im Bereich der Drahtoberflächen sind dagegen keine Kettfäden und damit keine Kreuzungspunkte vorhanden.

[0014] Die Lotbahn dient dazu, eine bestimmte, auf den Bedarf an Lot abgestimmte Lotmenge zum Herstellen der Lotverbindung bereitzustellen. Es findet eine Vorverlotung der elektrischen Kontaktfläche statt. Bei Verwendung von Lötzinn als Lot wird die Vorverlotung als Vorverzinnung bezeichnet. Die Lotmenge, die eingebracht wird, ist gegeben durch eine Lotbahnbreite und Lotbahndicke. Die Lotbahn kann dabei in Form einer Lotfolie aufgebracht werden. Denkbar ist aber auch, die Lotbahn als Lotpaste in einem Siebdruckverfahren oder mit Hilfe eines Dispensers auf die elektrische Kontaktfläche des Körpers aufzutragen. Das Lot ist insbesondere ein Weichlot wie Zinn oder eine Zinn-Blei-Legierung. Das Weichlot zeichnet sich durch eine Arbeitstemperatur von unter 450°C aus.

[0015] Denkbar ist aber auch ein Hartlot (Arbeitstemperatur über 450°C). Bei der Arbeitstemperatur liegt das Lot als Schmelze vor. Durch das Erwärmen und durch nachfolgendes Abkühlen wird aus der Lotbahn eine Lotraupe gebildet. In die Lotraupe sind mehrere Drähte beziehungsweise die Drahtoberflächen der Drähte eingefasst.

[0016] Beim Erwärmen wird das Lot über eine Schmelztemperatur des Lots erhitzt. Dabei werden die Kontaktfläche und die Drahtoberfläche von dem geschmolzenen Lot benetzt. Es entsteht die Lotverbindung zwischen der Kontaktfläche und den Drahtflächen. Durch nachfolgendes Abkühlen der Lotverbindung unter die Schmelztemperatur des Lots verfestigen sich die Lotverbindung. Es entstehen eine fest Lotverbindung mit einem Reib- und Formschluss zu der elektrischen Kontaktfläche und der Drahtoberfläche. Während die Lotverbindung gebildet wird, kann es zu einer Legierungsbildung kommen. Die gebildete Lotverbindung oder ein Teil der Lotverbindung ist eine Legierung aus mindestens einem Material des Drahtes und mindestens einem Material des Körpers.

[0017] In einer besonderen Ausgestaltung werden Drähte mit einem Drahtdurchmesser verwendet, der aus einem Bereich zwischen einschließlich 10 µm bis einschließlich 200 µm, insbesondere aus einem Bereich zwischen einschließlich 30 µm bis einschließlich 100 µm ausgewählt ist.

[0018] In einer besonderen Ausgestaltung wird eine Lotbahn mit einer Lotbahndicke verwendet, die, kleiner ist als der Drahtdurchmesser der Drähte. Dadurch ist es möglich, Lotverbindungen mit jeweils einer der Drahtoberfläche der Drähte abgekehrten freien Oberfläche herzustellen, die im Wesentlichen frei von Lot ist. Diese Oberfläche wird, wenn

überhaupt, nur mit einer im Vergleich zum Durchmesser der Lotverbindung dünnen Schicht aus dem Lot bedeckt.

[0019] Insbesondere wird eine Lotbahndicke verwendet, die aus dem Bereich zwischen einschließlich 10 µm und einschließlich 100 µm ausgewählt ist. Die durch die Lotbahn bereitgestellte Lotmenge ist derart bemessen, dass eine feste, stabile Lotverbindung hergestellt wird. Bei einer kleinen, bereitgestellten Lotmenge kann sich eine relativ dünne, aber dennoch stabile Lotverbindung ausbilden. Dies ist beispielsweise bei dem eingangs beschriebenen Aktorkörper zu berücksichtigen. Ein im Aktorkörper entstandener Riss kann sich in die Lotverbindung ausbreiten und die Lotverbindung vollständig durchdringen. In der Lotverbindung ist ein Spalt vorhanden, der nahezu senkrecht zur Expansions- und Kontraktionsrichtung des Aktorkörpers ausgerichtet ist. Bei der Expansion und Kontraktion findet am Riss des Aktorkörpers eine große Auslenkung (Rissöffnung) des Aktorkörpers statt. Durch den Spalt kann die Lotverbindung der Auslenkung des Aktorkörpers weitgehend folgen. Die Lotverbindung wird mechanisch kaum belastet. Ist dagegen die Lotmenge zu groß bemessen, ist es möglich, dass sich zwar der Riss in die Lotverbindung ausbreitet, die Lotverbindung aber nicht vollständig durchdringt. Durch den Riss entstehen bei der Expansion und Kontraktion des Aktorkörpers mechanische Spannungen in der Lotverbindung, die zu einem Abtrennen der Lotverbindung von der Kontaktfläche und/oder von den Drahtoberflächen führen können. Die Folge wäre ein zumindest teilweiser Ausfall des Piezoaktors.

[0020] In einer besonderen Ausgestaltung werden die Lotverbindungen zwischen der elektrischen Kontaktfläche und den Drahtoberflächen der Drähte im Wesentlichen gleichzeitig hergestellt. Die Lotverbindungen werden nicht nacheinander hergestellt. Dazu ist es vorteilhaft, wenn die gesamte Lotbahn möglichst homogen erwärmt wird. Homogen erwärmen bedeutet, dass die gesamte Lotbahn möglichst gleichzeitig erwärmt wird. Bei Erwärmen tritt in der Lotbahn möglichst kein Temperaturgradient auf. Zu jeder Zeit des Erwärmens weist die gesamte Lotbahn eine annähernd gleiche Temperatur auf. Vorteilhaft an diesem Vorgehen ist insbesondere, dass im Körper ein geringer Temperaturgradient erzeugt wird und damit mechanische Spannungen im Körper in einem relativ geringen Maße auftreten.

[0021] In einer besonderen Ausgestaltung wird zum Erwärmen des Lots ein Laser und/oder eine Bügellotanlage verwendet. Der Laser kann ein Punktlaser mit einem Fokuspunkt sein, der schnell entlang der Lotbahn bewegt wird und so ein homogenes, gleichmäßiges Erwärmen des Lots durch Wärmestrahlung ermöglicht. Denkbar ist auch ein Array aus einzelnen Lasern, beispielsweise ein Diodenlaser-Array. Mit Hilfe des Arrays kann die gesamte Lotbahn gleichzeitig erwärmt werden. Bei der Bügellotanlage wird Energie entlang der gesamten Lotbahn durch Wärmeleitung eingetragen, wobei gleichzeitig ein Pressdruck ausgeübt werden kann.

[0022] In einer besonderen Ausgestaltung wird vor dem Zusammenbringen der Lotbahn und der Drahtoberflächen der Drähte und/oder vor dem Erwärmen des Lots ein Einstellen eines bestimmten Drahtabstands zwischen den Drähten zumindest im Bereich der Drahtoberflächen durchgeführt. Der Drahtabstand ist beispielsweise so bemessen, dass definierte Lotverbindungen mit gleichmäßigen Lotraupen hergestellt werden können. Der Drahtabstand im Bereich der zu verlötenden Drahtoberfläche beträgt beispielsweise 300 µm bei einem Drahtdurchmesser von unter 100 µm.

[0023] Insbesondere wird zum Einstellen des Drahtabstands der Drähte ein im Wesentlichen paralleles Ausrichten der Drähte durchgeführt. Dazu werden die Drähte beispielsweise in einer mit entsprechenden Abstandshaltern ausge-

statteten Halterung eingespannt. Die Halterung ist beispielsweise ein Halterahmen. Mit Hilfe des Halterahmens, in dem die Drähte parallel zueinander angeordnet bzw. eingespannt sind, werden die Drähte gleichzeitig mit der Kontaktfläche zusammengebracht und die Lotverbindungen durch Erwärmen der Lotbahn gleichzeitig hergestellt.

[0024] Insbesondere werden zum parallelen Ausrichten der Drähte mindestens zwei, im Wesentlichen zueinander parallel ausgerichtete Gewindestangen mit einem Gewinde verwendet und die Drähte zwischen den Gewindestangen in die Gewinde eingespannt. Das Gewinde zeichnet sich durch eine Gewindesteigung aus. Die Gewindesteigung legt den Drahtabstand fest, in dem die Drähte voneinander entfernt angeordnet werden. Möglich sind auch zwei beliebige Stangen, die Einkerbungen aufweisen, die in dem bestimmten Drahtabstand zueinander angeordnet sind. Die Drähte werden in die Einkerbungen eingespannt.

[0025] Mit Hilfe des Halterahmens oder der Gewindestangen gelingt es leicht, mehrere Körper gleichzeitig mit den parallel zueinander angeordneten Drähten zu verbinden. Beispielsweise ist ein Körper der Aktorkörper eines Piezoaktors und ein weiterer Körper der elektrische Anschlussstift des Piezoaktors. Eine elektrische Kontaktfläche des Aktorkörpers und eine elektrische Kontaktfläche des Anschlussstifts werden jeweils auf die zuvor beschriebene Weise mit den Drähten verbunden. Es entsteht ein Piezoaktor, bei dem der Anschlussstift und der Aktorkörper über im Wesentlichen zueinander parallel angeordnete Drähte elektrisch leitend verbunden sind. Denkbar ist zudem, dass mit Hilfe eines Halterahmens oder der Gewindestangen mehrere der Piezoaktoren auf einmal hergestellt werden. Nach Beendigung des Herstellens der Lotverbindungen zwischen den Drähten und den Aktorkörpern und Anschlussstiften werden die Piezoaktoren einzeln. Dazu werden die Drähte zwischen den Piezoaktoren durchtrennt.

[0026] In einer besonderen Ausgestaltung werden der Körper und/oder die Drähte vor dem Erwärmen des Lots vorgewärmt. Dies ist beispielsweise dann vorteilhaft, wenn im Körper mehrere Materialien verwendet werden, die voneinander abweichende Temperatursdehnungskoeffizienten aufweisen. Durch voneinander abweichende Temperatursdehnungskoeffizienten der Materialien des Körpers könnte es beim Erwärmen des Lots im Körper zu mechanischen Spannungen (beispielsweise Zugspannungen) kommen, die zu einem Defekt oder ein Riss im Körper führen. Ein Vorwärmen hat zudem den Vorteil, dass die Benetzbarkeit der Kontaktschicht verbessert werden kann. Vorteilhaft wird der Körper auf eine Körpertemperatur vorgewärmt, die nahe bei der Arbeitstemperatur des verwendeten Lots liegt. Die Körpertemperatur liegt beispielsweise 50°C–100°C unter der Arbeitstemperatur des Lots.

[0027] Zur Verbesserung einer Haftung der Lotverbindung werden insbesondere vor, während und/oder nach dem Erwärmen des Lots die Kontaktfläche des Körpers und die Drahtoberflächen der Drähte gegeneinander gedrückt. Es wird ein Pressdruck auf den Körper und/oder die Drähte ausgeübt. Dies gelingt beispielsweise mit der oben angesprochenen Bügellotanlage.

[0028] In einer weiteren Ausgestaltung wird vor dem Zusammenbringen der Lotbahn und der Drahtoberflächen der Drähte an den Drahtoberflächen Lot angebracht. Es werden zusätzlich zur Kontaktfläche die Drahtoberflächen vorverlotet (vorverzinkt). Dies gelingt beispielsweise durch Eintauchen der Drahtoberflächen in flüssiges Lot.

[0029] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird vor dem Erwärmen des Lots zwischen der Kontaktfläche des Körpers und der Lotbahn und/oder zwischen der Drahtoberfläche und der Lotbahn mindestens eine Haftver-

mittlungsschicht angeordnet. Die Haftvermittlungsschicht hat die Aufgabe, eine möglichst homogene und kompakte Lotverbindung zwischen der Kontaktfläche und den Drahtoberflächen zu ermöglichen. Die Haftvermittlungsschicht verbessert beispielsweise eine Benetzbarkeit und damit eine Haftfestigkeit der Lotbahn auf der Kontaktfläche. Im Verlauf des Erwärmens des Lots kann es zur Ausbildung einer geeigneten, die Haftfestigkeit verbessernden, intermetallischen Zwischenschicht kommen. Bei einer Kontaktfläche in Form eines Metallisierungstreifens aus einer Einbrennmetallisierung mit Silber ist beispielsweise als Haftvermittlungsschicht für ein Weichlot mit Zinn eine Schicht aus Gold gut geeignet.

[0030] Zur Lösung der Aufgabe wird neben den Verfahren ein elektrotechnisches Erzeugnis angegeben. Dieses Erzeugnis weist mindestens einen Körper, mindestens eine elektrische Kontaktfläche des Körpers und zumindest zwei nebeneinander angeordnete Drähte auf. Dabei ist zwischen der Kontaktfläche des Körpers und jeweils einer bestimmten Drahtoberfläche der Drähte eine Lotverbindung angeordnet. Zudem sind die Drähte zumindest im Bereich der Drahtoberflächen untereinander und mit weiteren Drähten kreuzungsfrei angeordnet. Darüber hinaus ist durch die Lotverbindungen jeweils ein Verbindungsabstand zwischen der Kontaktfläche und der jeweiligen Drahtoberfläche der Drähte bestimmt, der kleiner ist als ein Drahtdurchmesser der Drähte. Das elektrotechnische Erzeugnis ist insbesondere mit Hilfe des zuvor beschriebenen Verfahrens hergestellt.

[0031] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weisen die Drähte jeweils eine der Drahtoberfläche des Drahtes abgekehrte freie Oberfläche auf, die im Wesentlichen frei von Lot ist. Im Vergleich zum Verbindungsabstand, der durch die Lotverbindung gegeben ist, ist auf der freien Oberfläche eine Schichtdicke aus dem Lot wesentlich kleiner. Dadurch ist gewährleistet, dass die Lotschicht auf der Kontaktfläche möglichst dünn ist. Vorteilhaft ist es, wenn der Draht durch die freie Oberfläche unvollständig von der Lotschicht umhüllt ist.

[0032] In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist zur Bildung der Kontaktfläche des Körpers am Körper und/oder zwischen den Drahtoberflächen und den Lotverbindungen zumindest eine Haftvermittlungsschicht angeordnet. Dies führt dazu, dass die Kontaktfläche des Körpers von einer Schichtoberfläche der Haftvermittlungsschicht gebildet ist. Die Haftvermittlungsschicht ist beispielsweise der Metallisierungstreifen des Aktorkörpers. Insbesondere können zur Haftverbesserung mehrere Haftvermittlungsschichten vorhanden sein. Beispielsweise ist auf dem Metallisierungstreifen eine Schicht aus Gold aufgebracht.

[0033] Denkbar ist auch, dass ein Draht einen Drahtkern und eine Drahtumhüllung aufweist. Während der Drahtkern vornehmlich eine mechanische Stabilität des Drahtes gewährleistet, sorgt die Drahtumhüllung als Haftvermittlungsschicht für eine gute Lötbarkeit des Drahtes und damit für eine stabile Lotverbindung. Beispielsweise besteht der Drahtkern aus Stahl und die Drahtumhüllung aus Kupfer.

[0034] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weisen die Lotverbindungen jeweils eine der Kontaktfläche des Körpers und der Drahtoberfläche des jeweiligen Drahtes abgekehrte jeweilige Verbindungsfläche mit einer konkaven Wölbung auf. Die Wölbung kann als Lotmeniskus bezeichnet werden. Eine konkave Wölbung ist dann vorhanden, wenn eine gute Benetzbarkeit der Drahtoberfläche eines Drahtes und der Kontaktfläche des Körpers durch das Lot gegeben ist.

[0035] Vorteilhaft ist es, wenn die Lotverbindung mit der Wölbung entlang der Längsrichtung des Drahtes beidseitig

vorhanden und auf beiden Seiten des Drahtes annähernd gleich ist. Je besser die Benetzbarkeit ist, desto größer ist ein Krümmungsradius der konkaven Wölbung. Die Benetzbarkeit lässt sich, wie oben beschrieben, durch eine Haftvermittlungsschicht beeinflussen.

[0036] In einer weiteren Ausgestaltung weisen die Drähte einen Drahtdurchmesser auf, der aus einem Bereich zwischen einschließlich 20 µm bis einschließlich 200 µm, insbesondere aus einem Bereich zwischen einschließlich 50 µm bis einschließlich 100 µm ausgewählt ist.

[0037] In einer besonderen Ausgestaltung ist der Körper ein piezoelektrischer Aktorkörper mit übereinander gestapelten Elektrodenschichten und Piezokeramiksichten. Die Kontaktfläche zur abwechselnden elektrischen Kontaktierung benachbarter Elektrodenschichten entlang einer Expansions- und Kontraktionsrichtung des Aktorkörpers ist an einer Seitenfläche des Aktorkörpers angeordnet. Die Drähte verbinden die Kontaktfläche mit einem festen Anschlussstift. Insbesondere ist dabei der Anschlussstift im Wesentlichen in Richtung einer Expansions- und Kontraktionsrichtung des Aktorkörpers ausgerichtet ist. Dabei kann eine Richtungsabweichung von bis zu 10° auftreten.

[0038] Zusammenfassend ergeben sich mit der vorliegenden Erfindung folgende Vorteile:

- Benötigte und verwendete Lotmenge werden aufeinander abgestimmt. Dadurch können definierte, reproduzierbare Lotverbindungen zwischen der elektrischen Kontaktfläche eines Körpers und den Drahtoberflächen von Drähten hergestellt werden. Die Lotverbindungen weisen bestimmte mechanische und elektrische Eigenschaften auf.
- Mit dem Verfahren können mehrere Körper gleichzeitig mit Drähten verbunden und elektrisch kontaktiert werden.
- Durch gezielte Maßnahmen wie beispielsweise die Verbesserung der Benetzbarkeit der elektrischen Kontaktfläche und der Drahtoberflächen oder das homogene Erwärmen der Lotbahn wird eine zusätzliche Verbesserung der Lotverbindungen erreicht.
- Durch die Vorverlotung zumindest der elektrischen Kontaktfläche des Körpers ist möglich, auch sehr dünne Drähte im µm-Maßstab sicher und reproduzierbar an die Kontaktfläche anzulöten.

[0039] Anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der dazugehörigen Figuren wird das Verfahren zum Herstellen einer Lotverbindung und ein elektrotechnisches Erzeugnis mit der Lotverbindung vorgestellt. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabgetreuen Abbildungen dar.

[0040] Fig. 1a und 1b zeigen ein elektrotechnisches Erzeugnis in einem Querschnitt und in Aufsicht.

[0041] Fig. 2 zeigt einen Piezoaktor.

[0042] Fig. 3 zeigt ein Verfahren zum Herstellen einer Lotverbindung.

[0043] Fig. 4a und 4b zeigen verschiedene Möglichkeiten zum Erwärmen des Lots der Lotbahn.

[0044] Fig. 5a und 5b zeigen eine Vorrichtung zum parallelen Anordnen der Drähte mit zwei in Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Gewindestangen von der Seite und von Oben.

[0045] Fig. 6 zeigt ein Einspritzventil.

[0046] Gegenstand ist ein elektrotechnisches Erzeugnis in Form des eingangs beschriebenen Piezoaktors 1 (Fig. 2). Der Piezoaktor 1 verfügt über einen Aktorkörper 11, der aus übereinander gestapelten Elektrodenschichten 12 und Piezokeramiksichten 13 besteht. Die Piezokeramiksichten

bestehen aus eine Bleizirkonattitanat(PZT)-Keramik und die Elektrodenschichten aus einer Silber-Palladium-Legierung. Der Aktorkörper 11 hat eine quadratische Grundfläche von $7 \times 7 \text{ mm}^2$ und eine Stapelhöhe von 30 mm.

[0047] Die Elektrodenschichten 12, die auch als Innenelektroden bezeichnet werden, sind zur alternierenden elektrischen Kontaktierung benachbarter Elektrodenschichten 12 abwechselnd an zwei Metallisierungsstreifen 16 geführt, die an zwei voneinander getrennte Seitenflächen 14 des Aktorkörpers 11 angeordnet sind. Eine dem Aktorkörper 11 abgewandte Oberfläche eines Metallisierungsstreifens 16 bildet eine elektrische Kontaktfläche 15 des Aktorkörpers 11. Die Metallisierungsstreifen bilden die Kontaktflächen. Die Metallisierungsstreifen beziehungsweise die Kontaktflächen erstrecken sich in Expansions- und Kontraktionsrichtung 17 des Aktorkörpers 11 über eine Höhe, die sich aus den zu kontaktierenden Elektrodenschichten 12 ergibt.

[0048] Mit jeweils einem Metallisierungsstreifen 16 ist ein fester, im Wesentlichen parallel zur Expansions- und Kontraktionsrichtung 17 ausgerichteter elektrischer Anschlussstift 18 elektrisch leitend verbunden. Dies gelingt mit im Wesentlichen zueinander parallel angeordneten Drähten 20 (Fig. 1a, 1b und 2). Die Drähte 20 haben einen Drahtdurchmesser 21 von 50 µm. Der Drahtabstand 22 von Draht 20 zu Draht 20 beträgt 100 µm. Zwischen den Drahtoberflächen 23 der Drähte 20 und der Kontaktfläche 15 beziehungsweise der Metallisierungsstreifen 16 ist jeweils eine Lotverbindung 30 angeordnet. Im Bereich 25 der Drahtoberflächen 23 und der Lotverbindungen 30 sind die Drähte 20 durch eine parallele Ausrichtung zueinander kreuzungsfrei angeordnet.

[0049] Durch die Lotverbindung 30 ist ein Verbindungsabstand 24 zwischen den Drahtoberflächen 23 und der Kontaktfläche 15 gegeben, der kleiner ist, als der Drahtdurchmesser 21 der Drähte 20. Der Verbindungsabstand 24 beträgt etwa 30 µm. Die Drähte 20 weisen jeweils eine der Drahtoberfläche 23 abgekehrte freie Oberfläche 26 auf. Die freie Oberfläche 26 ist im Wesentlichen frei von Lot 31.

[0050] Die Lotverbindungen 30 weisen jeweils eine der Kontaktfläche 15 und der Drahtoberfläche 23 abgekehrte Verbindungsoberfläche 33 mit einer konkaven Wölbung 34 auf. Die Wölbungen 34 sind beidseitig entlang der Längsausdehnung 27 eines Drahtes 20 gleich geformt. Auf beiden Seiten 28 und 29 eines Drahtes 20 haben die Wölbungen 34 einen annähernd gleichen Krümmungsradius.

[0051] Um den beschriebenen Piezoaktor 1 herzustellen, werden folgende Verfahrensschritte durchgeführt (Fig. 3): Ausgehend von dem gesinterten Aktorkörper 11 mit den beiden Metallisierungsstreifen 16 wird eine Lotbahn 32 mit Lot 31 auf die Kontaktflächen 15 des Aktorkörpers 11 aufgetragen (301, Fig. 3). Ebenso wird jeweils eine Lotbahn 32 auf die Kontaktfläche 15 der elektrischen Anschlussstifte 18 aufgetragen. Kontaktfläche 15 des Aktorkörpers 11 und Kontaktfläche 15 des Anschlussstifts 18 werden vorverlotet. Dabei wird die Lotbahn 32 als Lotfolie mit einer Lotbahndicke 35 von 20 µm aufgetragen. Im nächsten Verfahrensschritt 302 werden die Drahtoberflächen 23 der 50 µm dicken Drähte 20 mit der jeweiligen Lotbahn 32 zusammengebracht, wobei darauf geachtet wird, dass die Drähte 20 im Bereich 25 der Drahtoberflächen 23 kreuzungsfrei angeordnet sind. Zum kreuzungsfreien und parallelen Anordnen und zum Einstellen des Drahtabstands 22 der Drähte 20 zueinander werden zwei Gewindestangen 40 benutzt, die im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet sind (Fig. 5a und 5b). In das Gewinde 41 der Gewindestangen 40 werden die Drähte 20 parallel zueinander eingespannt. Dazu werden die Gewindestangen 40 mit einem einzigen Draht 20 mehrmals entsprechend einer Anzahl benötigter Drahtverbindungen

zwischen dem Aktorkörper **11** und der Anschlussstifte **18** umwickelt. Der Drahtabstand **22** der Drähte **20** und damit der Drahtabstand **22** der Drahtoberflächen **23** zueinander ergibt sich aus der Gewindesteigung **42** der Gewindestangen **40**.

[0052] Zwischen die Gewindestangen **40** werden mehrere Aktorkörper **11** und Anschlussstifte **18** derart angeordnet, dass die jeweiligen Kontaktflächen **15** mit dem eingespannten Draht **20** in Berührung stehen.

[0053] Im letzten Verfahrensschritt **303** wird das Lot **31** der jeweiligen Lotbahn **32** erwärmt. Dazu wird zunächst der Aktorkörper **11** auf eine Temperatur vorgewärmt, die 100°C unter der Arbeitstemperatur des Lots **31** liegt. Danach wird das Lot **31** auf Arbeitstemperatur erwärmt. Das Lot **31** wird geschmolzen. Es entstehen die Lotverbindungen **30** zwischen der Kontaktfläche **15** und den Drahtoberflächen **23**. Nachfolgendes Abkühlen führt zu festen Lotverbindungen **30**. Das Herstellen der Lotverbindungen **30** zwischen einer Kontaktfläche **25** und den zugehörigen Drahtoberflächen **23** geschieht im Wesentlichen gleichzeitig. Abschließend werden die fertigen Piezoaktoren **11** mit den Aktorkörpern **11**, den Anschlussstiften **18** und den verbindenden Drähten **20** vereinzelt.

[0054] Das Erwärmen des Lots **31** erfolgt gemäß einer ersten Ausführungsform durch eine Bügellotanlage **51** (Fig. 4a). Dabei werden neben dem Erwärmen durch Ausüben eines Drucks **51** die Kontaktfläche **15** und die Drahtoberflächen gegeneinander gedrückt. In einer weiteren Ausführungsform erfolgt das Erwärmen mittels Strahlung **52** eines Lasers.

[0055] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden neben den Kontaktflächen **15** auch die Drahtoberflächen **23** vorverlotet. Dabei werden die Drahtoberflächen **23** in flüssiges Lot getaucht. Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird auf die Drahtoberflächen **23** eine Haftvermittlungsschicht aufgetragen.

[0056] Ein auf diese Weise hergestellter Piezoaktor **1** wird zur Ansteuerung eines Einspritzventils **60** einer Brennkraftmaschine eingesetzt. Dabei ist der Piezoaktor **1** beispielsweise über einen Kolben **61** mit einer Düsenadel **62** des Einspritzventils **60** verbunden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen jeweils einer Lotverbindung **(30)** zwischen einer elektrischen Kontaktfläche **(15)** zumindest eines Körpers **(11)** und einer bestimmten Drahtoberfläche **(23)** zumindest zweier nebeneinander angeordneter Drähte **(20)**, mit folgenden Verfahrensschritten:

- a) Anbringen **(301)** einer Lotbahn **(32)** aus Lot **(31)** mit einer bestimmten Lotbahndicke **(35)** an der Kontaktfläche **(15)** des Körpers **(11)**,
- b) Zusammenbringen **(302)** der Lotbahn **(32)** und der Drahtoberflächen **(23)** der Drähte **(20)**, wobei die Drähte **(20)** zumindest im Bereich **(25)** der Drahtoberflächen **(23)** untereinander und mit weiteren Drähten **(19)** kreuzungsfrei angeordnet werden, und
- c) Erwärmen **(303)** des Lots **(31)** der Lotbahn **(32)**, so dass die Lotverbindungen **(30)** gebildet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Drähte **(20)** mit einem Drahtdurchmesser **(21)** verwendet werden, der aus einem Bereich zwischen einschließlich 10 µm bis einschließlich 200 µm, insbesondere aus einem Bereich zwischen einschließlich 30 µm bis einschließlich 100 µm ausgewählt ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Lotbahn **(32)** mit einer Lotbahndicke **(35)** verwendet wird, die kleiner ist als der Drahtdurchmesser **(21)** der Drähte **(20)**.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Lotverbindungen **(30)** zwischen der elektrischen Kontaktfläche **(15)** und den Drahtoberflächen **(23)** der Drähte **(20)** im Wesentlichen gleichzeitig hergestellt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei zum Erwärmen des Lots **(31)** ein Laser **(52)** und/oder eine Bügellotanlage **(50)** verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei vor dem Zusammenbringen **(302)** der Lotbahn **(32)** und der Drahtoberflächen **(23)** der Drähte **(20)** und/oder vor dem Erwärmen **(303)** des Lots **(31)** ein Einstellen eines bestimmten Drahtabstands **(22)** zwischen den Drähten **(20)** zumindest im Bereich **(25)** der Drahtoberflächen **(23)** durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei zum Einstellen des Drahtabstands **(22)** der Drähte **(20)** ein im Wesentlichen paralleles Ausrichten der Drähte **(20)** durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei zum parallelen Ausrichten der Drähte **(20)** mindestens zwei, im Wesentlichen zueinander parallel ausgerichtete Gewindestangen **(40)** mit einem Gewinde **(41)** verwendet und die Drähte **(20)** zwischen den Gewindestangen **(40)** in die Gewinde **(41)** eingespannt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Körper **(11)** und/oder die Drähte **(20)** vor dem Erwärmen **(303)** des Lots **(31)** vorgewärmt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei vor dem Zusammenbringen **(301)** der Lotbahn **(31)** und der Drahtoberflächen **(23)** der Drähte **(20)** Lot **(31)** an den Drahtoberflächen **(23)** angebracht wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei vor dem Erwärmen **(303)** des Lots **(31)** zwischen der Lotbahn **(32)** und der Kontaktfläche **(15)** des Körpers **(11)** und/oder zwischen der Lotbahn **(15)** und der Drahtoberfläche **(23)** des Drahtes **(20)** mindestens eine Haftvermittlungsschicht **(16)** angeordnet wird.

12. Elektrotechnisches Erzeugnis **(1)** mit

- mindestens einem Körper **(11, 18)**,
- mindestens einer elektrischen Kontaktfläche **(15)** des Körpers **(11, 18)**,
- zumindest zwei nebeneinander angeordneten Drähten **(20)**, wobei zwischen der Kontaktfläche **(15)** des Körpers **(11, 18)** und jeweils einer bestimmten Drahtoberfläche **(23)** der Drähte **(20)** eine Lotverbindung **(30)** angeordnet ist,
- die Drähte **(20)** zumindest im Bereich **(25)** der Drahtoberflächen **(23)** untereinander und mit weiteren Drähten **(19)** kreuzungsfrei angeordnet sind und
- durch die Lotverbindungen **(30)** ein Verbindungsabstand **(24)** zwischen der Kontaktfläche **(15)** und der jeweiligen Drahtoberfläche **(23)** der Drähte **(20)** bestimmt ist, der kleiner ist als ein Drahtdurchmesser **(21)** der Drähte **(20)**.

13. Erzeugnis nach Anspruch 12, wobei die Drähte **(20)** jeweils eine der Drahtoberfläche **(23)** des Drahtes **(20)** abgekehrte freie Oberfläche **(26)** aufweisen, die im Wesentlichen frei von Lot **(31)** ist.

14. Erzeugnis nach Anspruch 12 oder 13, wobei am Körper **(11)** zur Bildung der Kontaktfläche **(15)** des Körpers **(11)** am Körper **(11)** und/oder zwischen den Drahtoberflächen **(23)** und den Lotverbindungen **(30)**

zumindest eine Haftvermittlungsschicht (16) angeordnet ist.

15. Erzeugnis nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei die Lotverbindungen (30) jeweils eine der Kontaktfläche (15) des Körpers (11) und/oder der Drahtoberfläche (23) des jeweiligen Drahtes (20) abgekehrte 5 jeweilige Verbindungsoberfläche (33) mit einer konkaven Wölbung (34) aufweisen.

16. Erzeugnis nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei die Drähte (20) einen Drahtdurchmesser (21) 10 aufweisen, der aus einem Bereich zwischen einschließlich 10 µm bis einschließlich 200 µm, insbesondere aus einem Bereich zwischen einschließlich 30 µm bis einschließlich 100 µm ausgewählt ist.

17. Erzeugnis nach einem der Ansprüche 12 bis 16, 15 wobei

- der Körper (11) ein piezoelektrischer Aktorkörper mit übereinander gestapelten Elektroden-schichten (12) und Piezokeramiksichten (13) 20 ist,

- die Kontaktfläche (15) zur abwechselnden elektrischen Kontaktierung benachbarter Elektroden-schichten entlang einer Expansions- und Kontraktionsrichtung (17) des Aktorkörpers (11) an einer 25 Seitenfläche (14) des Aktorkörpers (11) angeordnet ist, und

- durch die Drähte (20) die Kontaktfläche (15) des Aktorkörpers (11) mit einem festen Anschlussstift (18) verbunden ist.

18. Verwendung des Erzeugnisses nach Anspruch 17 30 zur Ansteuerung eines Einspritzventils (60) einer Brennkraftmaschine.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

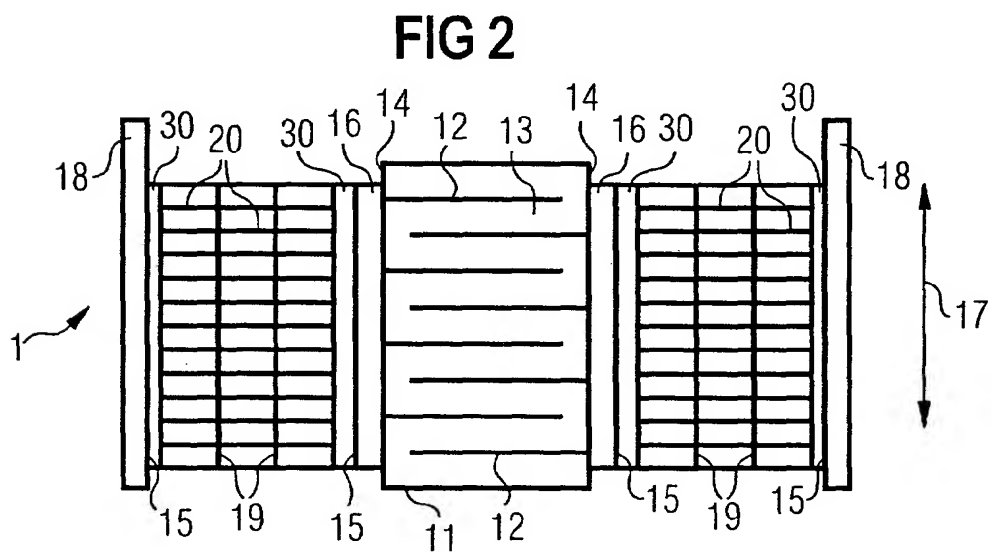
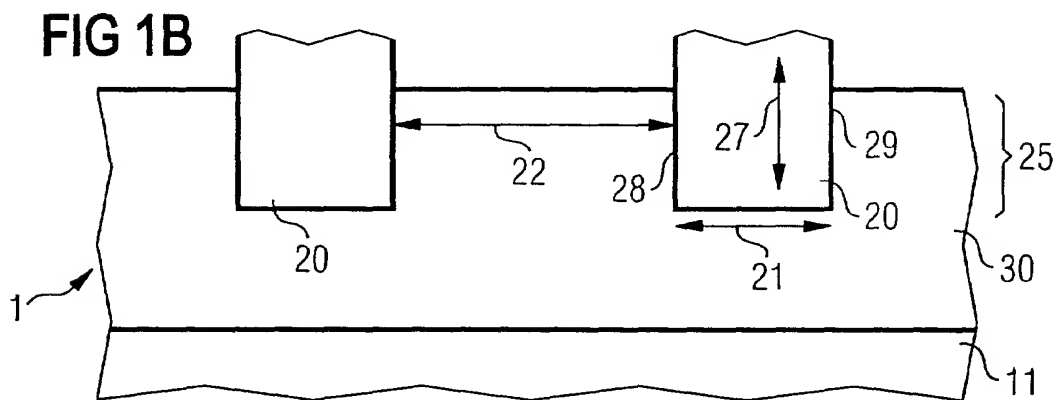
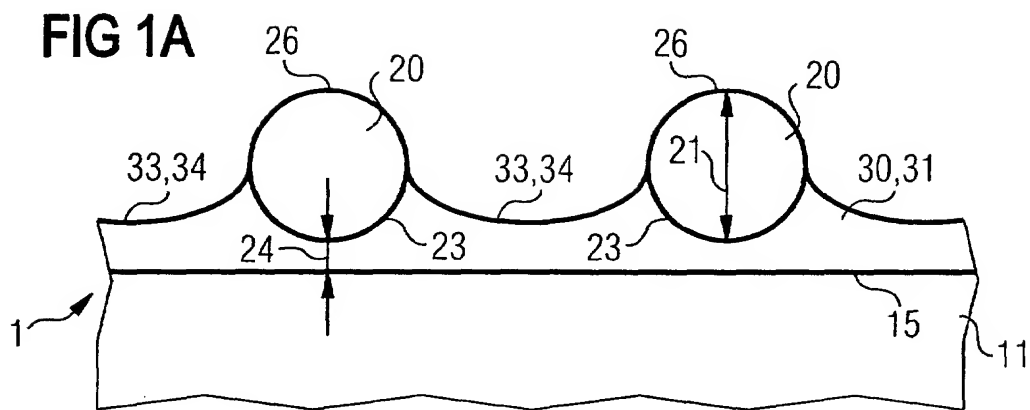


FIG 3

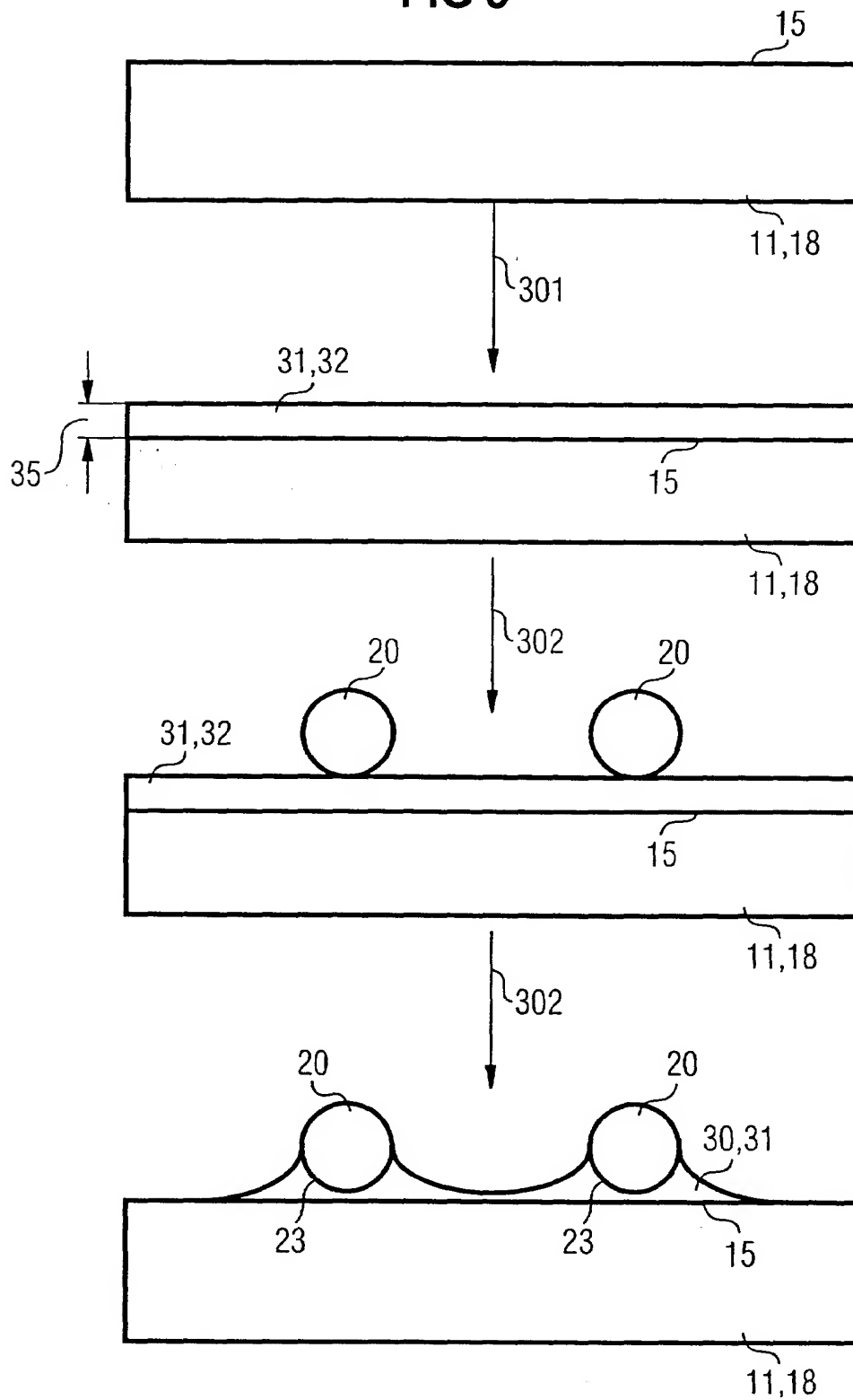


FIG 4A

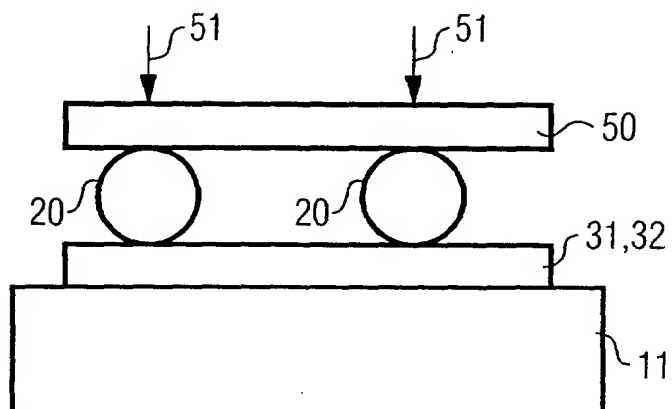


FIG 4B

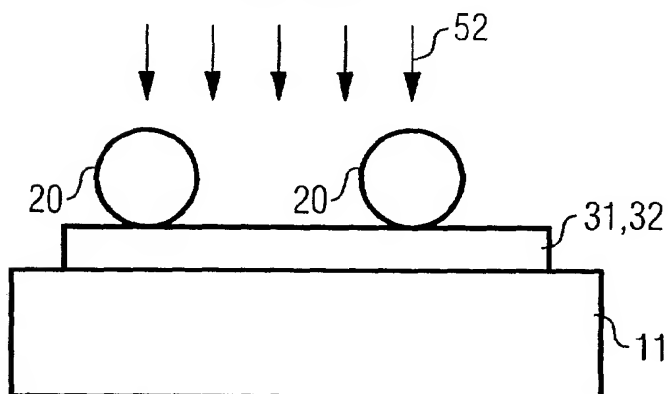


FIG 5A

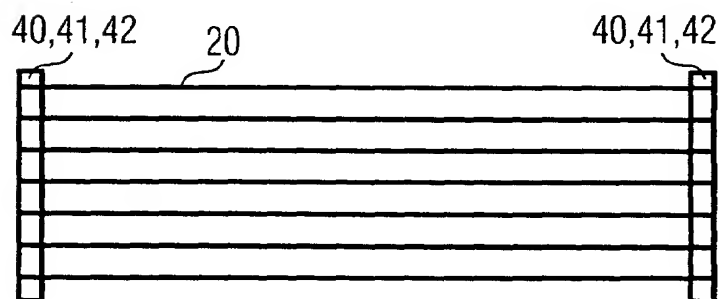


FIG 5B

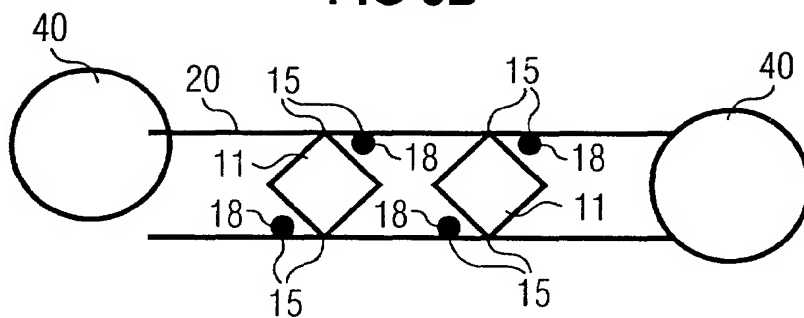


FIG 6

